

## НЕВРОЛОГИЯ И НЕЙРОХИРУРГИЯ NEUROLOGY AND NEUROSURGERY

### АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНО-БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ТРАВМЫ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА

Щурова Е.Н.,  
Прудникова О.Г.,  
Качесова А.А.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России (640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6, Россия)

Автор, ответственный за переписку:  
Щурова Елена Николаевна,  
e-mail: elena.shurova@mail.ru

#### РЕЗЮМЕ

**Обоснование.** У пациентов с отдалёнными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы при выраженном неврологическом дефиците стандартная неврологическая оценка не позволяет точно выявить изменения чувствительности, определяющие уровень, степень и характер повреждения спинного мозга, а также оценить минимальную динамику этих нарушений при различных вариантах лечения. Вследствие этого объективная инструментальная оценка сенсорной сферы в отдалённом периоде травмы спинного мозга не утратила своей актуальности.

**Цель:** провести инструментальное исследование состояния температурно-болевой чувствительности у пациентов с частичным грубым повреждением шейного отдела спинного мозга в отдалённом периоде заболевания (тип В по шкале ASIA).

**Методы.** Было обследовано 23 пациента с последствиями перелома позвонков в шейном отделе позвоночника в позднем периоде травматической болезни спинного мозга степени В по шкале ASIA. Клинический анализ чувствительных нарушений проводился согласно шкалам ISNCSCI и ASIA. При исследовании температурно-болевой чувствительности определяли порог тепловой чувствительности и порог боли от горячего в дерматомах CIV–SI справа и слева с помощью электрического эстеziометра.

**Результаты.** У обследованных пациентов регистрировалось наличие гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гиперестезии болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии. Степень изменений температурно-болевой чувствительности зависела от топографической локализации дерматомов. Чем более дистально располагается область исследования от уровня повреждений, тем в большей степени выражены нарушения. У 30,4 % больных была сохранена, хотя бы с одной стороны, болевая чувствительность от горячего в цепочке дерматомов с CIV по SI. В 69,6 % случаев в дерматомах с ThVII и дистально наблюдается сочетание термоанестезии с термоаналгезией.

**Заключение.** Инструментально регистрируемый уровень нарушения температурно-болевой чувствительности не соответствует клинически определяемой локализации сенсорных нарушений. Диапазон расхождения колеблется от 2 до 12 дерматомов, с определением субклинического дефицита чувствительности над областью клинических сенсорных нарушений.

**Ключевые слова:** травматическая болезнь спинного мозга (ТБСМ), травма спинного мозга, отдалённый/поздний период ТБСМ, шейный отдел спинного мозга, сенсорные нарушения, нарушения чувствительности, температурно-болевая чувствительность

Статья получена: 20.10.2021  
Статья принята: 18.04.2022  
Статья опубликована: 05.07.2022

**Для цитирования:** Щурова Е.Н., Прудникова О.Г., Качесова А.А. Анализ температурно-болевой чувствительности у пациентов с последствиями травмы шейного отдела спинного мозга. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(3): 190-202. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.20

## ANALYSIS OF TEMPERATURE-PAIN SENSITIVITY IN PATIENTS WITH CONSEQUENCES OF THE CERVICAL SPINAL CORD INJURY

Shchurova E.N.,  
Prudnikova O.G.,  
Kachesova A.A.

National Ilizarov Medical Research  
Centre for Traumatology and  
Ortopaedics (M. Ulyanovoy str. 6,  
Kurgan 640014, Russian Federation)

Corresponding author:  
Elena N. Shchurova,  
e-mail: elena.shurova@mail.ru

### ABSTRACT

**Background.** The standard neurological assessment in patients with long-term consequences of spine-and-spinal cord injury and severe neurological deficit does not allow to accurately identify changes in sensitivity that determine the level, degree and nature of spinal cord injury, as well as to evaluate the minimal dynamics of these disorders with different treatment options. As a result, an objective instrumental assessment of the sensory sphere in the long-term period of spinal cord injury has not lost its relevance.

**The aim.** To conduct an instrumental study of the temperature-pain sensitivity condition in patients with partial gross damage to the cervical spinal cord in the long-term period of the disease (type B on the ASIA scale).

**Methods.** We examined 23 patients with consequences of vertebral fractures of the cervical spine in the late period of traumatic spinal cord disease, Grade B on the ASIA scale ASIA. The clinical analysis of sensitive disorders was performed according to ISNCSCI and ASIA scales. While studying the temperature-pain sensitivity the threshold of thermal sensitivity and the threshold of pain from hot were determined in C<sub>IV</sub>-S<sub>I</sub> dermatomes on the right and on the left using an electric esthesiometer.

**Results.** The examined patients had hypesthesia of heat and pain sensitivity, hyperesthesia of pain sensitivity, thermoanesthesia and thermoanalgesia. The degree of changes in the temperature-pain sensitivity depended on the topographic localization of dermatomes. The more distally the study area was located from the level of damage, the more pronounced the disorders were. In 30.4 % of patients, the pain sensitivity from hot in the chain of dermatomes from C<sub>IV</sub> to S<sub>I</sub> was preserved on at least one side. The combination of thermoanesthesia with thermoanalgesia was observed in 69.6 % of cases in dermatomes with Th<sub>VII</sub> and distally.

**Conclusions.** The instrumentally registered level of the temperature-pain sensitivity disorder did not correspond to clinically determined localization of sensory disorders. The range of discrepancy ranged from 2 to 12 dermatomes, with defining the sensitivity subclinical deficit over the area of clinical sensory disorders.

**Key words:** traumatic spinal cord disease (TSCD), spinal cord injury, long-term/late period of TSCD, cervical spinal cord, sensory disorders, sensitivity disorders, temperature-pain sensitivity

Received: 20.10.2021  
Accepted: 18.04.2022  
Published: 05.07.2022

**For citation:** Shchurova E.N., Prudnikova O.G., Kachesova A.A. Analysis of temperature-pain sensitivity in patients with consequences of the cervical spinal cord injury. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(3): 190-202. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.20

## ОБОСНОВАНИЕ

Позвоночно-спинномозговая травма является одной из сложных и актуальных проблем современной медицины и общества. Каждый год в различных регионах мира насчитывается около 790 000 новых случаев травм позвоночника [1]. В России прирост больных с позвоночно-спинномозговой травмой составляет около 8000 в год [2].

Чаще всего травматическое повреждение регистрируется в шейном отделе позвоночника (в 39–53 % случаев) [3–5], с преимущественной локализацией на уровне  $C_V$  и/или  $C_{VI}$  позвонков [3, 6]. В 33–65 % случаев переломы позвоночника сопровождаются повреждением спинного мозга и, следовательно, неврологическим дефицитом [5, 7].

Пациенты с позвоночно-спинномозговой травмой шейного отдела имеют выраженные нарушения двигательных, сенсорных и вегетативных функций [8]. С течением времени, в отдалённый период повреждения спинного мозга (хроническая фаза), восстановление проводимости спинного мозга серьёзно затрудняется развитием астроглиально-фиброзного рубца, окружающего сросшиеся кистозные полости, и формируется комплекс грубых функциональных и неврологических нарушений [9, 10].

Патоморфологические изменения как спинного мозга, нервной системы, так и всего организма в целом различаются в зависимости от момента травмы. В иностранной литературе выделяют острую (до 2 месяцев), подострую (12–18 месяцев после травмы) и хроническую фазу травмы спинного мозга. В отечественной литературе соответствующей по временным характеристикам является классификация периодов травматической болезни спинного мозга (ТБСМ) О.А. Амелиной (1998): острый (несколько дней – 3–4 месяца), промежуточный (1–2 года), отдалённый (неопределённо долго) [11, 12].

С начала 1980-х годов международные стандарты неврологической классификации травм спинного мозга (ISNCSCI) и шкала нарушений Американской ассоциации травм позвоночника (ASIA) считаются золотым стандартом классификации травматической болезни спинного мозга [13, 14]. Несмотря на широкое использование этих инструментов, были подняты вопросы относительно недостаточной чувствительности, надёжности и валидности ISNCSCI, особенно в отношении его сенсорного компонента [15–17]. Стандартная неврологическая оценка может не выявить минимальные изменения при выраженных двигательных и чувствительных расстройствах, характерных для данной категории больных [18]. Кроме того, отмечаются расхождения между клинической оценкой сенсорной функции и порогам электрического восприятия при частичном повреждении в отдалённом периоде травмы шейного отдела спинного мозга [19]. По мнению ряда авторов, классификация пациентов с неполным повреждением спинного мозга менее надёжна, чем у больных с полным повреждением спинного мозга [20, 21]. Дифференциальная ди-

агностика нарушений видов чувствительности, степени и локализации является не только основой топического диагноза, но и инструментом для оценки состояния пациентов в динамике.

Вследствие этого объективная инструментальная оценка сенсорной сферы в отдалённом периоде травмы спинного мозга не утратила своей актуальности.

В литературе представлены единичные сообщения, в которых производилась инструментальная, количественная оценка разных видов чувствительности у пациентов в хронической фазе травматической болезни с неполным повреждением спинного мозга [22–24]. Кроме того, в этих публикациях отсутствует стратификация по степеням повреждения (B, C, D) и нет чёткой акцентуации на уровень травмы спинного мозга (шейный, грудной и т. д.).

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести инструментальное исследование состояния температурно-болевого чувствительности у пациентов с неполным повреждением шейного отдела спинного мозга в отдалённом периоде заболевания (тип В по шкале ASIA).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Дизайн исследования:** проспективное контролируемое моноцентровое исследование.

**Критерии включения:** поздний период повреждения спинного мозга, тип В неврологических нарушений по шкале ASIA, уровень повреждения – шейный отдел позвоночника. **Критерии исключения:** острый и промежуточный период повреждения спинного мозга, тип А, С, D по шкале ASIA, повреждение позвоночника на уровне грудного и поясничного отделов.

**Методы исследования:** клинический (неврологический статус), лучевой, МРТ, эстеziометрия, статистический.

**Этическая экспертиза.** Исследования были проведены в соответствии с этическими стандартами (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации с поправками 2013 г.).

**Период набора пациентов:** с 2019 по 2021 г.

Обследовано 23 пациента в возрасте от 18 до 56 лет (в среднем –  $29,0 \pm 1,4$  года), преимущественно мужчины (22 человека). Период времени после позвоночно-спинномозговой травмы колебался от 1 года до 12 лет (в среднем –  $3,6 \pm 0,8$  года). В 12 случаях это было последствием травмы «ныряльщика», в остальных случаях ДТП и падение с высоты. В 58 % (12 больных) определялся перелом позвонков  $C_V$  и  $C_{VI}$ , у 2 пациентов –  $C_{IV-V}$  позвонков, в трёх случаях –  $C_{IV}$  позвонка, в одном случае –  $C_{VI-VII}$  позвонков, у 5 больных –  $C_{VII}$  позвонка.

У всех пациентов было выполнено неотложное хирургическое лечение (декомпрессивно-стабилизирующее оперативное вмешательство) после получения трав-

мы. Больные проходили неоднократные курсы лечебно-реабилитационных мероприятий.

Клинический анализ чувствительных нарушений проводился согласно шкалам ISNCSCI и ASIA [13, 14]. Использовалась кисточка для определения тактильной чувствительности и укол иглой (булавкой) – болевой чувствительности в симметричных участках кожи. Клинически было определено наличие гипестезии с дерматомов Th<sub>IV</sub> в 3 случаях, с дерматомов Th<sub>V</sub> – в 4 случаях, Th<sub>VI</sub> – в 6 случаях, Th<sub>VII</sub>, Th<sub>VIII</sub>, Th<sub>IX</sub>, Th<sub>XII</sub> – по одному случаю, C<sub>VI</sub> – в 3 случаях, анестезии с Th<sub>II</sub> – в 1 случае, Th<sub>V</sub> – в 1 случае, Th<sub>VI</sub> – в 1 случае.

У 5 пациентов был определён тетрапарез различной степени выраженности, у 15 больных регистрировался верхний парапарез, сочетающийся с нижней параплегией, в 3 случаях – только нижняя параплегия с сохранённой функцией верхних конечностей.

Исследование температурно-болевой чувствительности осуществлялось в области дерматомов с C<sub>IV</sub> по S<sub>I</sub> справа и слева с помощью электрического эстезиометра (термистор фирмы «EPCOS Inc.», Германия). Определяли температуру кожи в исследуемой области, порог тепловой чувствительности и порог болевой чувствительности от горячего (в градусах).

Контрольную группу составили 13 обследуемых, у которых отсутствовали клинические признаки неврологического дефицита, травмы и хирургических вмешательств на позвоночнике, спинном мозге, нижних конечностях.

**Статистическая обработка** данных проведена с помощью программ Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США) с использованием надстройки AtteStat. Нормальность распределения исследуемых данных проверялась с помощью критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. При нормальном типе распределений применялся параметрический принцип статистической обработки – критерий Стьюдента. При отсутствии нормального характера распределения использовались непараметрические методы: критерий знаковых рангов Уилкоксона для связанных выборок, U-критерий Манна – Уитни для несвязанных выборок. Критический уровень статистической значимости при проверке результатов принимался равным 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование температурно-болевой чувствительности у больных с последствиями позвоночно-спинно-мозговой травмы в шейном отделе позвоночника с неполным повреждением спинного мозга определило наличие гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гиперестезии болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии (табл. 1). У 7 (30,4 %) больных из 23 была сохранена, хотя бы с одной стороны, болевая чувствительность в цепочке дерматомов с C<sub>IV</sub> по S<sub>I</sub>. В остальных случаях (16 больных – 69,6 %) в дерматомов с Th<sub>VII</sub> и дистально наблюдается сочетание термоанестезии с термоаналгезией.

Были определены особенности изменений температурно-болевой чувствительности в зависимости от уровня измерений. Чем более дистально располагается область исследования (дерматом) от уровня повреждения позвоночника и спинного мозга, тем в большей степени выражены нарушения температурно-болевой чувствительности.

Так, в области дерматомов C<sub>IV</sub>–C<sub>VII</sub> наблюдалась наибольшая частота нормальных порогов тепловой (21–75 %) и болевой (14–34 %) чувствительности (табл. 1). Термоанестезия колебалась в пределах от 25 до 62 %, термоаналгезия – от 0 до 7 %.

С дерматомов C<sub>VIII</sub> значительно увеличивается частота термоанестезии (≥ 75 %) и термоаналгезии (≥ 9 %). Снизилась доля дерматомов с нормальными пороговыми значениями тепловой (≤ 9 %) и болевой (≤ 9 %) чувствительности.

С дерматомов Th<sub>IV</sub> значительно увеличивается процент термоаналгезии (≥ 57 %). С уровня Th<sub>V</sub> высокий процент термоанестезии (86 %) сочетается с увеличивающейся долей термоаналгезии (≥ 66 %). Эта значительная степень нарушений сохранялась на протяжении дерматомов Th<sub>V</sub>–S<sub>I</sub> (табл. 1).

В дерматомов Th<sub>V</sub>–S<sub>I</sub> регистрировалось минимальное количество порогов болевой чувствительности, соответствующее показателям контрольной группы (от 0 до 5 %). Гипестезия тепловой чувствительности регистрировалась в 4–11 %, болевой – в 18–34 % (табл. 1).

Также у данной группы пациентов определялась гиперестезия болевой чувствительности. В наибольшей степени она была представлена в дерматомов C<sub>IV</sub> и C<sub>V</sub> (32–58 % случаев), в меньшей степени – в дерматомов C<sub>VI</sub>–C<sub>VIII</sub> (5–11 %). В более дистальных областях исследования гиперестезия идентифицировалась эпизодически, в минимальном количестве случаев (от 2 до 4 % в дерматомов с Th<sub>VII</sub> по Th<sub>XII</sub>).

Показатели порогов температурно-болевой чувствительности, в среднем по выборке (табл. 2), в дерматомов C<sub>IV</sub> и C<sub>V</sub> были в пределах нормы, в дерматомов C<sub>VI</sub> и C<sub>VII</sub> – умеренно повышены (на 1–2 градуса;  $p < 0,05$ ).

С уровня дерматомов C<sub>VIII</sub> регистрируются более значительные отличия от уровня нормы (на 2–4 градуса,  $p < 0,05$ ). Этот характер отличия сохраняется во всех дерматомов, расположенных более дистально, где была зарегистрирована температурно-болевая чувствительность (табл. 2).

Соответствие порогов болевой чувствительности показателям контрольной группы в дерматомов C<sub>IV</sub> и C<sub>V</sub> может быть обусловлено тем, что в этих дерматомов, кроме наличия достаточной доли нормальных порогов (18–34 %), присутствует сочетание гипестезии (8–50 %) с гиперестезией (32–58 %). Отчасти такой же эффект может иметь место и в дерматомов C<sub>VI</sub> и C<sub>VII</sub>.

При разделении обследуемых на группы в зависимости от вида двигательных нарушений различается характер изменений температурно-болевой чувствительности. Так, в I группе (пациенты с тетрапарезом различной степени выраженности) в 60 % случаев была сохранена болевая чувствительность (рис. 1), хотя бы с одной стороны, по всей цепочке дерматомов C<sub>IV</sub> по S<sub>I</sub>.

**ТАБЛИЦА 1**  
**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НАРУШЕНИЙ**  
**ТЕМПЕРАТУРНО-БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ**  
**У ПАЦИЕНТОВ С ОТДАЛЁННЫМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ**  
**НЕПОЛНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА**  
**СПИННОГО МОЗГА (%)**

**TABLE 1**  
**DISTRIBUTION OF VARIOUS TYPES**  
**OF TEMPERATURE-PAIN SENSITIVITY DISORDERS**  
**IN PATIENTS WITH LONG-TERM CONSEQUENCES**  
**OF INCOMPLETE CERVICAL SPINAL CORD INJURY (%)**

Дерматомы	Тепловая чувствительность			Болевая чувствительность			
	Порог в норме (%)	Гипестезия (%)	Термоанестезия (%)	Порог в норме (%)	Гипестезия (%)	Гиперестезия (%)	Термоаналгезия (%)
C <sub>IV</sub> (n = 12)	75	0	25	34	8	58	0
C <sub>V</sub> (n = 34)	35	3	62	18	50	32	0
C <sub>VI</sub> (n = 42)	21	17	62	31	55	7	7
C <sub>VII</sub> (n = 44)	34	18	43	14	68	11	7
C <sub>VIII</sub> (n = 44)	9	16	75	9	77	5	9
Th <sub>I</sub> (n = 42)	7	14	79	2	77	2	19
Th <sub>II</sub> (n = 44)	9	9	82	5	82	0	13
Th <sub>III</sub> (n = 44)	7	27	66	7	75	0	18
Th <sub>IV</sub> (n = 42)	2	22	76	0	43	0	57
Th <sub>V</sub> (n = 44)	7	7	86	0	34	0	66
Th <sub>VI</sub> (n = 44)	9	11	80	4	30	0	66
Th <sub>VII</sub> (n = 44)	9	9	82	0	28	4	68
Th <sub>VIII</sub> (n = 44)	9	7	84	0	23	4	73
Th <sub>IX</sub> (n = 44)	4	12	84	5	18	2	75
Th <sub>X</sub> (n = 44)	9	5	86	2	23	2	73
Th <sub>XI</sub> (n = 44)	7	7	86	0	28	2	70
Th <sub>XII</sub> (n = 44)	0	9	91	0	28	2	70
L <sub>I</sub> (n = 44)	2	7	91	4	24	0	72
L <sub>II</sub> (n = 44)	9	4	86	4	23	0	73
L <sub>III</sub> (n = 44)	4	7	89	2	25	0	73
L <sub>IV</sub> (n = 44)	5	9	86	2	25	0	73
L <sub>V</sub> (n = 44)	4	7	89	4	23	0	73
S <sub>I</sub> (n = 44)	14	2	84	4	23	0	73

Во II группе (пациенты только с нижней параплегией, с сохранённой функцией верхних конечностей) это наблюдалось в 33 % случаев. При наличии верхнего парапареза и нижней параплегии (III группа) степень сохранения болевой чувствительности составляла 16,7 % в дерматомах C<sub>IV</sub> по S<sub>I</sub>.

При соотношении инструментальных исследований температурно-болевой чувствительности с клиническим анализом сенсорного дефицита (по ASIA и ISNCSCI) наблюдались расхождения в уровне определения нарушений, в частности, гипестезия болевой чувствительности от горячего, в большинстве случаев, регистрировалась

на 2–12 дерматомов (в среднем – на  $5,5 \pm 0,7$  дерматомов) проксимальнее, чем клинически определяемые нарушения (табл. 3). Следует заметить, сопоставление величины расхождения уровней нарушения чувствительности и давности позвоночно-спинномозговой травмы показало отсутствие взаимосвязи ( $r = -0,182; p = 0,773$ ).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

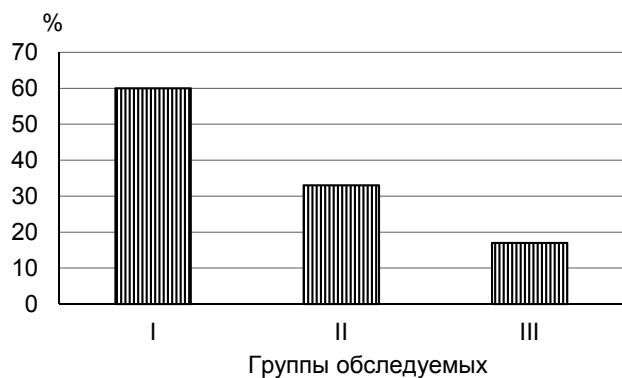
Тяжёлая травма спинного мозга приводит к необратимой потере сенсомоторных и вегетативных

**ТАБЛИЦА 2**  
**ПОКАЗАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНО-БОЛЕВОЙ**  
**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ (ГРАДУСЫ) У ПАЦИЕНТОВ**  
**С ОТДАЛЁННЫМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ НЕПОЛНОГО**  
**ПОВРЕЖДЕНИЯ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА**  
**(M ± m)**

**TABLE 2**  
**INDICATORS OF TEMPERATURE-PAIN SENSITIVITY**  
**(DEGREES) IN PATIENTS WITH LONG-TERM**  
**CONSEQUENCES OF INCOMPLETE INJURY**  
**OF THE CERVICAL SPINAL CORD (M ± m)**

Дерматомы	Контрольная группа (n = 13)			Обследуемые пациенты		
	t° кожи	ПТЧ	ПБЧ	t° кожи	ПТЧ	ПБЧ
C <sub>IV</sub>	32,4 ± 0,2	34,4 ± 0,4	41,4 ± 0,5	33,1 ± 0,3	34,0 ± 0,6 n = 9	40,0 ± 0,6 n = 12
C <sub>V</sub>	33,2 ± 0,1	34,3 ± 0,2	41,0 ± 0,3	33,2 ± 0,2	34,4 ± 0,7 n = 11	42,2 ± 0,6 n = 34
C <sub>VI</sub>	32,8 ± 0,2	34,5 ± 0,5	41,0 ± 0,3	33,5 ± 0,2	37,1 ± 0,9* n = 16	43,2 ± 0,5* n = 39
C <sub>VII</sub>	32,5 ± 0,2	35,0 ± 0,3	41,2 ± 0,4	33,5 ± 0,2	37,5 ± 1,0* n = 24	44,0 ± 0,6* n = 40
C <sub>VIII</sub>	32,7 ± 0,1	34,8 ± 0,3	41,0 ± 0,3	33,7 ± 0,1	38,5 ± 1,1* n = 11	45,6 ± 0,5* n = 40
Th <sub>I</sub>	33,5 ± 0,2	34,5 ± 0,7	42,0 ± 0,5	33,6 ± 0,2	39,3 ± 1,3* n = 9	47,2 ± 0,5* n = 34
Th <sub>II</sub>	33,6 ± 0,1	35,0 ± 0,6	41,5 ± 0,2	33,9 ± 0,1	39,4 ± 1,6* n = 8	47,0 ± 0,4* n = 38
Th <sub>III</sub>	33,2 ± 0,2	34,3 ± 0,3	42,0 ± 0,4	33,8 ± 0,2	41,0 ± 1,0* n = 15	46,3 ± 0,5* n = 36
Th <sub>IV</sub>	33,6 ± 0,2	34,3 ± 0,3	42,0 ± 0,4	33,7 ± 0,2	42,0 ± 1,4* n = 10	47,8 ± 0,7* n = 18
Th <sub>V</sub>	33,5 ± 0,2	34,5 ± 0,5	41,5 ± 0,3	33,6 ± 0,1	41,0 ± 2,9* n = 6	48,2 ± 0,9* n = 15
Th <sub>VI</sub>	33,3 ± 0,1	34,5 ± 0,3	41,3 ± 0,5	33,7 ± 0,2	40,1 ± 1,9* n = 9	46,5 ± 1,1* n = 15
Th <sub>VII</sub>	33,6 ± 0,1	34,7 ± 0,6	41,4 ± 0,5	33,4 ± 0,2	40,8 ± 2,2* n = 9	46,0 ± 1,0* n = 14
Th <sub>VIII</sub>	33,5 ± 0,2	35,0 ± 0,4	42,0 ± 0,5	33,2 ± 0,1	38,1 ± 2,0* n = 7	45,4 ± 1,3* n = 12
Th <sub>IX</sub>	33,3 ± 0,1	34,8 ± 0,3	41,5 ± 0,5	33,5 ± 0,2	37,2 ± 1,0* n = 7	44,7 ± 0,9* n = 11
Th <sub>X</sub>	33,8 ± 0,1	34,7 ± 0,9	41,2 ± 0,4	33,4 ± 0,2	37,3 ± 1,5* n = 6	45,8 ± 1,2* n = 12
Th <sub>XI</sub>	33,6 ± 0,2	35,0 ± 0,6	42,0 ± 0,5	33,6 ± 0,1	37,5 ± 1,4* n = 6	46,0 ± 1,1* n = 13
Th <sub>XII</sub>	33,5 ± 0,1	35,0 ± 0,4	41,5 ± 1,6	33,7 ± 0,2	41,5 ± 1,6* n = 4	46,4 ± 0,9* n = 13
L <sub>I</sub>	34,0 ± 0,2	34,5 ± 0,7	42,0 ± 0,4	33,5 ± 0,2	40,8 ± 1,5* n = 4	46,0 ± 0,9* n = 12
L <sub>II</sub>	32,8 ± 0,3	34,8 ± 0,3	42,2 ± 0,2	33,2 ± 0,2	37,0 ± 1,0* n = 6	46,8 ± 0,9* n = 12
L <sub>III</sub>	32,8 ± 0,1	34,5 ± 0,1	41,5 ± 0,5	33,3 ± 0,4	39,0 ± 2,5* n = 5	46,5 ± 1,0* n = 12
L <sub>VI</sub>	32,5 ± 0,3	34,5 ± 0,1	41,6 ± 0,2	33,2 ± 0,2	39,8 ± 1,3* n = 6	46,3 ± 0,9* n = 12
L <sub>V</sub>	31,3 ± 0,3	33,8 ± 0,3	41,7 ± 0,1	33,9 ± 0,2	38,0 ± 2,2* n = 5	46,5 ± 0,9* n = 12
S <sub>I</sub>	30,1 ± 0,3	33,5 ± 0,7	41,4 ± 0,8	32,7 ± 0,4	36,2 ± 1,8* n = 7	46,4 ± 1,1* n = 12

Примечание. \* – статистическая значимость отличий показателей от уровня нормы (p < 0,05); ПТЧ – порог тепловой чувствительности; ПБЧ – порог болевой чувствительности.



**РИС. 1.**

*Степень сохранности болевой чувствительности в цепочке дерматомов  $C_{IV}$  по  $S_7$  в зависимости от уровня двигательных нарушений у пациентов с отдалёнными последствиями неполного повреждения шейного отдела спинного мозга: I – группа пациентов с тетрапарезом различной степени выраженности; II – группа пациентов с нижней параплегией; III – группа пациентов с верхним парапарезом и нижней параплегией*

**FIG. 1.**

*The degree of preservation of pain sensitivity in the chain of dermatomes  $C_{IV}$  to  $S_7$  depending on the level of movement disorders in patients with long-term consequences of incomplete injury of the cervical spinal cord: I – a group of patients with quadripareisis of varying severity; II – group of patients with lower paraplegia; III – a group of patients with upper paraparesis and lower paraplegia*

функций, что вызывает резкое изменение в повседневной деятельности, психосоциальном статусе, качестве жизни [8].

Травматическая болезнь спинного мозга (ТБСМ) обладает уникальной патофизиологией, где за начальным травматическим поражением (первичным повреждением) следует каскад прогрессирующих вторичных нарушений: ишемия, проапоптотическая передача сигналов и инфильтрация периферических воспалительных клеток. В течение последующих часов высвобождение провоспалительных цитокинов и цитотоксических остатков (ДНК, АТФ, активные формы кислорода) циклически усиливает неблагоприятное микроокружение после травмы [9]. По мере того, как поражение перерастает в хроническую фазу, регенерация серьёзно затрудняется развитием астроглиально-фиброзного рубца, окружающего сросшиеся кистозные полости [9, 10].

Отдалённый период травмы спинного мозга характеризуется сформированными неврологическими нарушениями и изменённым функциональным статусом пациентов. Примерно через один год после травмы у большинства пациентов с ТБСМ нейрональная дисфункция полностью установлена и остаётся более или менее стабильной в последующие годы [25].

Большинство травм позвоночника приводят к повреждению спинного мозга с двух сторон и нарушают целостность афферентных (сенсорных) аксонов, проецирующихся через дорсальные столбы спинного мозга к головному. Вследствие особенностей расположе-

ния в спинном мозге, пути дорсальных столбов особенно уязвимы при травматической болезни спинного мозга [26].

Исследование восходящих сенсорных трактов имеет решающее значение при оценке степени травмы, а также пластичности и процессов восстановления после травматического повреждения спинного мозга.

Сенсорная дисфункция является тяжёлым последствием травматического повреждения спинного мозга. Она может проявляться в виде потери чувствительности, гипо- или гиперестезии, боли или аллодинии [23]. Помимо потери сенсорной функции ниже уровня поражения при полной ТБСМ, чувствительные расстройства могут быть обнаружены и выше уровня повреждения, вследствие пластичности нервной системы [27].

Стандартная неврологическая оценка является приблизительной, она не позволяет селективно выявить субклинические нарушения и не может выявить тонких терапевтических эффектов при лечении [18, 23]. Кроме того, в ISNCSCI для классификации нарушений чувствительной сферы при травме спинного мозга используется шкала укола булавкой (иглой) и лёгкого прикосновения [13, 14]. Отсутствие анализа проприоцепции, тепловой и болевой чувствительности могут повлиять на надёжность и валидность данной шкалы [22, 23, 28]. Разными исследователями неоднократно поднимался вопрос о необходимости использования простых клинических методов, таких как термическое и проприоцептивное сенсорное тестирование [23, 24, 29].

В литературе представлены единичные сообщения, в которых производилась инструментальная, количественная оценка разных видов чувствительности у пациентов в хронической фазе травматической болезни с неполным повреждением спинного мозга [22–24].

A. Krassioukov et al. (1999) проводили количественное сенсорное тестирование у 21 пациента с неполным повреждением спинного мозга (более 1 года после травмы, степени B, C, D по ASIA, с неврологическим уровнем повреждения от  $C_{IV}$  до  $Th_{XII}$ ) с помощью комплекса QST (Quantitative sensory testing – количественного сенсорного тестирования) с определением порогов восприятия тепла, холода, боли от холода и вибрации в дерматоммах  $L_{IV}$ ,  $L_V$  и  $S_1$  с обеих сторон. Были определены повышенные пороги холодовой, тепловой и вибрационной чувствительности соответствующие гипестезии, что также подтверждено клиническим обследованием у большинства пациентов. Средние величины порогов болевой чувствительности от холода статистически значимо не отличались от показателей контрольной группы (регистрировалась как гипоалгезия, так и гипералгезия) [22].

A. Nicotra, P.H. Ellaway (2006) показали, что безвредные термические тесты (как компонента QST) способны выявлять сенсорную дисфункцию в дерматоммах на уровне повреждения (который является наиболее каудальным нормальным уровнем, определяемым клинически по ASIA) при хронической неполной травме спинного мозга (10 пациентов с уровнем

ТАБЛИЦА 3

РАСХОЖДЕНИЕ УРОВНЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПЕСТЕЗИИ БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ КЛИНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ СЕНСОРНЫХ НАРУШЕНИЯ (ПО ASIA И ISNCSCI) И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОТ ГОРЯЧЕГО У ПАЦИЕНТОВ С ОТДАЛЁННЫМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ НЕПОЛНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА

TABLE 3

THE DISCREPANCY BETWEEN THE LEVELS OF DEFINITION OF PAIN SENSITIVITY HYPESTHESIA IN THE CLINICAL ANALYSIS OF SENSORY DISORDERS (ACCORDING TO ASIA AND ISNCSCI) AND INSTRUMENTAL DETERMINATION OF PAIN SENSITIVITY FROM HEAT IN PATIENTS WITH LONG-TERM CONSEQUENCES OF INCOMPLETE INJURY OF THE CERVICAL SPINAL CORD

Пациенты	Гипестезия, определяемая клинически	Гипестезия, определяемая инструментально	Расхождение уровней (количество дерматомов)
№ 1	Th <sub>VI</sub>	C <sub>V</sub>	9
№ 2	Th <sub>VIII</sub>	C <sub>VIII</sub>	8
№ 3	Th <sub>VI</sub>	C <sub>VI</sub>	8
№ 4	Th <sub>VI</sub>	C <sub>V</sub>	9
№ 5	Th <sub>IV</sub>	C <sub>VII</sub>	5
№ 6	Th <sub>IV</sub>	C <sub>VIII</sub>	4
№ 7	Th <sub>V</sub>	Th <sub>I</sub>	4
№ 8	C <sub>VII</sub>	C <sub>V</sub>	2
№ 9	Th <sub>X</sub>	Th <sub>IV</sub>	6
№ 10	C <sub>VII</sub>	C <sub>VII</sub>	0
№ 11	Th <sub>IV</sub>	C <sub>V</sub>	7
№ 12	C <sub>VII</sub>	C <sub>V</sub>	2
№ 13	Th <sub>VI</sub>	C <sub>VII</sub>	7
№ 14	Th <sub>V</sub>	C <sub>VIII</sub>	5
№ 15	Th <sub>I</sub>	C <sub>VI</sub>	3
№ 16	C <sub>VI</sub>	C <sub>VIII</sub>	2
№ 17	Th <sub>XII</sub>	C <sub>VIII</sub>	12
№ 18	Th <sub>V</sub>	C <sub>VIII</sub>	5
№ 19	Th <sub>VII</sub>	Th <sub>I</sub>	6
<i>M ± m</i>	–	–	5,5 ± 0,7

травмы от C<sub>III</sub> до L<sub>IV</sub>, степенью B, C или D). Они определили, что пороги тепловой и холодовой чувствительности в области исследования значительно выше, чем в норме. Пороги болевой чувствительности от горячего и холода статистически значимо не отличались от показателей контрольной группы [23]. Ниже уровня поражения пороги тактильной, тепловой и холодовой чувствительности были выше нормы (гипестезия). В данном исследовании, тепловые пороги, измеренные для одного или двух дерматомов непосредственно над уровнем поражения, оказались нормальными. Таким образом, наблюдается выборочный субклинический тепловой сенсорный дефицит для дерматомов, клинически определяемый как нормальный (наиболее каудальный нормальный сенсорный уровень) по стандартам ASIA [23].

В работе G. Savic et al. (2007) проводился обобщённый анализ количественного исследования вибрационной, электрической и тепловой чувствительности у пациентов с хронической ТБСМ. Во всех трёх описанных модальностях чувствительности регистрировалась полная потеря чувствительности ниже зоны нормального уровня (определяемого клинически по ASIA), о чём судили по количественным пределам тестов [24].

R.A. Macklin et al. (2016) регистрировали расхождение (≈5 дерматомов, от 1 до 9) между клиническими оценками сенсорной функции (по ASIA и ISNCSCI) и порогом электрического восприятия у 17 пациентов после неполной хронической травмы шейного отдела спинного мозга. Разница между уровнем сенсорных нарушений при определении электрической чувствитель-



ности и оценкой ISNCSCI отрицательно коррелировала со временем после травмы [19].

К сожалению, в работах, посвящённых объективной, количественной оценке разных видов чувствительности у пациентов в хронической фазе ТБСМ с неполным повреждением спинного мозга, нет стратификации по степеням (B, C, D) и отсутствует чёткая акцентуация на уровень повреждения спинного мозга (шейный, грудной и т. д.).

В нашей работе мы провели исследование температурно-болевого чувствительности в дерматомах от  $C_{IV}$  до  $S_1$  у 23 пациентов с частичным хроническим повреждением шейного отдела спинного мозга степени В и позвоночника (на уровне  $C_{IV}$ – $C_{VII}$  позвонков).

Известно, что температурно-болевая чувствительность – это поверхностная кожная чувствительность. Тепловые рецепторы в основном иннервируются немиелинизированными С-волоконками. Болевая температурная чувствительность определяется функциональным состоянием в основном С-волокон с некоторым участием А-дельта-волокон [30]. Аfferентные импульсы от терморепцепторов проходят через спинномозговые центры, затем через латеральный спиноталамический тракт, таламус и идут к термосенсорной коре, нейроны которой сосредоточены в верхней стенке сильвиевой борозды [31].

Изменения (пластические) в этих структурах в хронической фазе ТБСМ могут обуславливать различные сдвиги температурно-болевого чувствительности.

Результаты наших исследований показали, что у пациентов с неполным повреждением шейного отдела спинного мозга в позднем периоде ТБСМ регистрировалось наличие гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гиперестезии болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии.

Также в наших исследованиях были определены особенности изменений температурно-болевого чувствительности в зависимости от уровня измерений. Чем более дистально располагается область исследования (дерматом) от уровня повреждения позвоночника и спинного мозга, тем в большей степени выражены нарушения температурно-болевого чувствительности.

В нашей группе пациентов в наибольшей степени была сохранена чувствительность в дерматомах, которые соответствовали уровню повреждения позвоночника и спинного мозга ( $C_{IV}$ – $C_{VII}$  дерматомы). В этих дерматомах регистрировалась наибольшая частота нормальных порогов тепловой и болевой чувствительности. С дерматома  $C_{VIII}$  снижалось количество случаев с нормальными пороговыми значениями тепловой и болевой чувствительности, значительно увеличивалась частота термоанестезии и термоаналгезии. У 7 больных (30,4 %) из 23 была сохранена, хотя бы с одной стороны, болевая чувствительность в цепочке дерматомов с  $C_{IV}$  по  $S_1$ . В остальных случаях (16 больных, 69,6 %) в дерматомах с  $Th_{VII}$  и дистально преимущественно наблюдается сочетание термоанестезии с термоаналгезией.

Восстановление функции после ТБСМ частично обусловлено нейропластическими изменениями или ре-

организацией центральной нервной системы. Нейропластичность может возникнуть в коре головного мозга [32, 33], стволе головного мозга, спинном мозге, периферической нервной системе [26, 34].

Нейропластичность включает в себя адаптивные (и дезадаптивные) изменения в сохранённых нейронных цепях и, таким образом, отражает реорганизацию нервной системы после травматического повреждения [34, 35]. Посттравматическая пластичность проявляется в виде изменения синаптических образований и синаптической силы [36], разрастания аксонов [37] и т. д.

Функциональное значение нейропластичности после ТБСМ, по-прежнему, остаётся неясным. В некоторых ситуациях изменения пластичности могут привести к функциональному улучшению, а в других случаях они могут иметь вредные последствия [34].

Отсутствие чувствительности ниже зоны нормального уровня, определяемого клинически и инструментально, было определено и другими авторами [18, 24]. Согласно данным литературы, для сенсомоторной системы дезадаптивная пластичность включает изменения функции нейронов ниже уровня поражения [34]. Нейрональные цепи спинного мозга, лишённые надспинального возбуждения, развивают нейрональную дисфункцию, которая проявляется в потере потенциалов действия ниже и удалённых от уровня поражения [38, 39].

В работах A. Nicotra et al., G. Savic et al. также отмечено отсутствие или нарушение тепловой чувствительности (повышенные пороги) ниже нормального уровня (определяемого клинически по ASIA) [23, 24].

Повышенные тепловые пороги обусловлены, по-видимому, тем, что вход в спиноталамический тракт через межнейронные связи от первичных аfferентов, участвующих в передаче сигналов о тепловых раздражениях, является ненормальным. Этого следовало ожидать, поскольку травматическое повреждение, вероятно, затрагивает центральную часть спинного мозга, где происходит переход на противоположную сторону аfferентных импульсов от терморепцепторов к латеральному спиноталамическому тракту [23].

При соотнесении наших инструментальных исследований температурно-болевого чувствительности с клиническим анализом сенсорных нарушений (по ASIA и ISNCSCI) наблюдались расхождения в уровне определения нарушений, в частности, гипестезия болевой чувствительности от горячего в большинстве случаев регистрировалась на 2–12 дерматомов проксимальнее, чем клинически определяемые нарушения. Наблюдался субклинический сенсорный дефицит (боли от горячего) в дерматомах, расположенных проксимально от уровня клинически определяемых сенсорных нарушений.

Данный факт может быть обусловлен неточным, ориентировочным, приблизительным характером стандартной неврологической оценки, структурно-функциональными особенностями сенсорных систем температурно-болевого, тактильной, механической болевой чувствительности [30, 31, 40].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов с неполным повреждением шейного отдела спинного мозга в позднем периоде травматической болезни спинного мозга при грубом неврологическом дефиците (тип В по ASIA) регистрировалось наличие гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гипестезии болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии. Степень изменений температурно-болевой чувствительности зависела от топографической локализации дерматомов. Чем более дистально располагается область исследования от уровня повреждений, тем в большей степени выражены нарушения. У 30,4 % больных была сохранена, хотя бы с одной стороны, болевая чувствительность от горячего в цепочке дерматомов с C<sub>IV</sub> по S<sub>I</sub>. В 69,6 % случаев в дерматомах с Th<sub>VII</sub> и дистально наблюдается сочетание термоанестезии с термоаналгезией. Инструментально регистрируемый уровень нарушения температурно-болевой чувствительности не соответствовал клинически определяемой локализации сенсорных нарушений (по ASIA и ISNCSCI). Диапазон расхождения колебался от 2 до 12 дерматомов, с определением субклинического дефицита над уровнем клинических сенсорных нарушений.

### Конфликт интересов

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Kumar R, Lim J, Mekary RA, Rattani A, Dewan MC, Sharif SY, et al. Traumatic spinal injury: Global epidemiology and worldwide volume. *World Neurosurg.* 2018; 113: e345-e363. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.033
- Морозов И.Н., Млявых С.Г. Эпидемиология позвоночно-спинномозговой травмы (обзор). *Медицинский альманах.* 2011; 4(17): 157-159.
- Yilmaz U, Hellen P. Cervical spine trauma. *Radiologe.* 2016; 56(8): 667-672. [In German]. doi: 10.1007/s00117-016-0135-5
- Bárbara-Bataller E, Méndez-Suárez JL, Alemán-Sánchez C, Sánchez-Enríquez J, Sosa-Henríquez M. Change in the profile of traumatic spinal cord injury over 15 years in Spain. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018; 26(1): 27. doi: 10.1186/s13049-018-0491-4
- Bakhsh A, Aljuzair AH, Eldawoody H. An epidemiological overview of spinal trauma in the kingdom of Saudi Arabia. *Spine Surg Relat Res.* 2020; 4(4): 300-304. doi: 10.22603/ssrr.2019-0118
- Wang H, Xiang Q, Li C, Zhou Y. Epidemiology of traumatic cervical spinal fractures and risk factors for traumatic cervical spinal cord injury in China. *J Spinal Disord Tech.* 2013; 26(8): E306-E313. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182886db9
- Ерохин А.Н., Кобызев А.Е., Сергеев О.М., Туровина Е.Ф. Стимуляция диафрагмального нерва посредством модифицированного имплантируемого устройства в комплексе реабилитационных мероприятий после повреждения шейного отдела спинного мозга (случай из практики). *Гений ортопедии.* 2020; 26(1): 89-94. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-89-94
- Rabinstein AA. Traumatic spinal cord injury. *Continuum (Minneapolis).* 2018; 24(2, Spinal Cord Disorders): 551-566. doi: 10.1212/CON.0000000000000581
- Ahuja CS, Nori S, Tetreault L, Wilson J, Kwon B, Harrop J, et al. Traumatic spinal cord injury – repair and regeneration. *Neurosurgery.* 2017; 80(3S): S9-S22. doi: 10.1093/neuros/nyw080
- Ong B, Wilson JR, Henzel MK. Management of the patient with chronic spinal cord injury. *Med Clin North Am.* 2020; 104(2): 263-278. doi: 10.1016/j.mcna.2019.10.006
- Burns AS, Marino RJ, Kalsi-Ryan S, Middleton JW, Tetreault LA, Dettori JR, et al. Type and timing of rehabilitation following acute and subacute spinal cord injury: A systematic review. *Global Spine J.* 2017; 7(3S): 175S-194S. doi: 10.1177/2192568217703084
- Амелина О.А. Травма спинного мозга. В: Макаров А.Ю. (ред.). *Клиническая неврология с основами медико-социальной экспертизы.* СПб.: ООО Золотой век; 1998: 232-248.
- Ditunno J, Young W, Donovan W, Creasey G. The international standards booklet for neurological and functional classification of spinal cord injury. *Paraplegia.* 1994; 32(2): 70-80. doi: 10.1038/sc.1994.13
- Kirshblum S, Snider B, Eren F, Guest J. Characterizing natural recovery after traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2021; 38(9): 1267-1284. doi: 10.1089/neu.2020.7473
- Hales M, Biros E, Reznik JE. Reliability and validity of the sensory component of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI): A systematic review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2015; 21(3): 241-249. doi: 10.1310/sci2103-241
- Mulcahey MJ, Gaughan J, Betz RR, Vogel LC. Rater agreement on the ISNCSCI motor and sensory scores obtained before and after formal training in testing technique. *J Spinal Cord Med.* 2007; 30(1): S146-S149.
- Прудникова О.Г., Качесова А.А., Рябых С.О. Реабилитация пациентов в отдалённом периоде травмы спинного мозга: метаанализ литературных данных. *Хирургия позвоночника.* 2019; 16(3): 8-16. doi: 10.14531/ss2019.3.8-16
- Kramer JK, Taylor P, Steeves JD, Curt A. Dermatome somatosensory evoked potentials and electrical perception thresholds during recovery from cervical spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair.* 2010; 24(4): 309-317. doi: 10.1177/1545968309348312
- Macklin RA, Brooke VJ, Calabro FJ, Ellaway PH, Perez MA. Discrepancies between clinical assessments of sensory function and electrical perceptual thresholds after incomplete chronic cervical spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2016; 54(1): 16-23. doi: 10.1038/sc.2015.104
- Schuld C, Franz S, Brüggemann K, Heutheaus L, Weidner N, Kirshblum SC, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: Impact of the revised worksheet (revision 02/13) on classification performance. *J Spinal Cord Med.* 2016; 39(5): 504-512. doi: 10.1080/10790268.2016.1180831
- Marino R, Jones L, Kirshblum S, Tal J, Dasgupta A. Reliability and repeatability of the motor and sensory examination of the international standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2008; 31(2): 166-170. doi: 10.1080/10790268.2008.11760707
- Krassioukov A, Wolfe DL, Hsieh JT, Hayes KC, Durham CE. Quantitative sensory testing in patients with incomplete spinal

cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999; 80(10): 1258-1263. doi: 10.1016/s0003-9993(99)90026-6

23. Nicotra A, Ellaway P. Thermal perception thresholds: Assessing the level of human spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2006; 44(10): 617-624. doi: 10.1038/sj.sc.3101877

24. Savic G, Bergström EMK, Davey NJ, Ellaway PH, Frankel HL, et al. Quantitative sensory tests (perceptual thresholds) in patients with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev.* 2007; 44(1): 77-82. doi: 10.1682/jrrd.2005.08.0137

25. Hubli M, Dietz V. The physiological basis of neurorehabilitation-locomotor training after spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil.* 2013; 10: 5. doi: 10.1186/1743-0003-10-5

26. Ozdemir RA, Perez MA. Afferent input and sensory function after human spinal cord injury. *J Neurophysiol.* 2018; 119(1): 134-144. doi: 10.1152/jn.00354.2017

27. Finnerup NB, Johannesen IL, Bach FW, Jensen TS. Sensory function above lesion level in spinal cord injury patients with and without pain. *Somatosensory Mot Res.* 2003; 20(1): 71-76. doi: 10.1080/0899022031000083843

28. Walsh LD, Moseley GL, Taylor JL, Gandevia SC. Proprioceptive signals contribute to the sense of body ownership. *J Physiol.* 2011; 589(Pt 12): 3009-3021. doi: 10.1113/jphysiol.2011.204941

29. Kirshblum S, Waring W, Biering-Sorensen F, Burns SP, Johansen M, Schmidt-Read M, et al. Reference for the 2011 revision of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *J Spinal Cord Med.* 2011; 34(6): 547-554. doi: 10.1179/107902611X13186000420242

30. Mucke M, Cuhls C, Radbruch L, Baron R, Maier C, Tölle T, et al. Quantitative sensory testing. *Schmerz.* 2014; 28: 635-648. [In German]. doi: 10.1007/s00482-014-1485-4

31. Mano H, Yoshida W, Shibata K, Zhang S, Koltzenburg M, Kawato M, et al. Thermosensory perceptual learning is associated with structural brain changes in parietal-opercular (SII) cortex. *J Neurosci.* 2017; 37(39): 9380-9388. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1316-17.2017

32. Mohammed H, Hollis ER. 2<sup>nd</sup>. Cortical reorganization of sensorimotor systems and the role of intracortical circuits after spinal cord injury. *Neurotherapeutics.* 2018; 15(3): 588-603. doi: 10.1007/s13311-018-0638-z

33. Simis M, Camsari DD, Imamura M, Filippo TRM, De Souza DR, Battistella LR, et al. Electroencephalography as a biomarker for functional recovery in spinal cord injury patients. *Front Hum Neurosci.* 2021; 15: 548558. doi: 10.3389/fnhum.2021.548558

34. Dietz V, Fouad K. Restoration of sensorimotor functions after spinal cord injury. *Brain.* 2014; 137(Pt 3): 654-667. doi: 10.1093/brain/awt262

35. Beuparlant J, van den Brand R, Barraud Q, Friedli L, Musienko P, Dietz V, et al. Undirected compensatory plasticity contributes to neuronal dysfunction after severe spinal cord injury. *Brain.* 2013; 136(Pt 11): 3347-3361. doi: 10.1093/brain/awt204

36. Rioult-Pedotti MS, Donoghue JP, Dunaevsky A. Plasticity of the synaptic modification range. *J Neurophysiol.* 2007; 98(6): 3688-3695. doi: 10.1152/jn.00164.2007

37. Bareyre FM, Kerschensteiner M, Raineteau O, Mettenleiter TC, Weinmann O, Schwab ME. The injured spinal cord spontaneously forms a new intraspinal circuit in adult rats. *Nat Neurosci.* 2004; 7(3): 269-277. doi: 10.1038/nn1195

38. Lin CS, Macefield VG, Elam M, Wallin BG, Engel S, Kieran MC. Axonal changes in spinal cord injured patients distal to the site of injury. *Brain.* 2007; 130(Pt 4): 985-994. doi: 10.1093/brain/awl339

39. Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Картавенко К.А., Солохина И.Ю., Козырев А.С. и др. Комплексное лечение пациента с осложнённой травмой грудного отдела позвоночника с использованием методики чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (клиническое наблюдение). *Гений ортопедии.* 2020; 26(1): 79-88. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-79-88

40. Pfau DB, Haroun O, Lockwood DN, Maier C, Schmitter M, Vollert J, et al. Mechanical detection and pain thresholds: Comparability of devices using stepped and ramped stimuli. *Pain Rep.* 2020; 5(6): e865. doi: 10.1097/PR9.0000000000000865

## REFERENCES

1. Kumar R, Lim J, Mekary RA, Rattani A, Dewan MC, Sharif SY, et al. Traumatic spinal injury: Global epidemiology and worldwide volume. *World Neurosurg.* 2018; 113: e345-e363. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.033

2. Morozov IN, Mlyavykh SG. Epidemiology of spine and spinal cord injury (review). *Medical Almanac.* 2011; 4(17): 157-159. (In Russ.).

3. Yilmaz U, Hellen P. Cervical spine trauma. *Radiologe.* 2016; 56(8): 667-672. [In German]. doi: 10.1007/s00117-016-0135-5

4. Bárbara-Bataller E, Méndez-Suárez JL, Alemán-Sánchez C, Sánchez-Enríquez J, Sosa-Henríquez M. Change in the profile of traumatic spinal cord injury over 15 years in Spain. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018; 26(1): 27. doi: 10.1186/s13049-018-0491-4

5. Bakhsh A, Aljuzair AH, Eldawoody H. An epidemiological overview of spinal trauma in the kingdom of Saudi Arabia. *Spine Surg Relat Res.* 2020; 4(4): 300-304. doi: 10.22603/ssrr.2019-0118

6. Wang H, Xiang Q, Li C, Zhou Y. Epidemiology of traumatic cervical spinal fractures and risk factors for traumatic cervical spinal cord injury in China. *J Spinal Disord Tech.* 2013; 26(8): E306-E313. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182886db9

7. Erokhin AN, Kobizev AE, Sergeenko OM, Turovinina EF. Phrenic nerve stimulation in complex rehabilitation for cervical spinal cord injury using modified implantable device (case report). *Genij Ortopedii.* 2020; 26(1): 89-94. (In Russ.). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-89-94

8. Rabinstein AA. Traumatic spinal cord injury. *Continuum (Minneapolis).* 2018; 24(2, Spinal Cord Disorders): 551-566. doi: 10.1212/CON.0000000000000581

9. Ahuja CS, Nori S, Tetreault L, Wilson J, Kwon B, Harrop J, et al. Traumatic spinal cord injury – repair and regeneration. *Neurosurgery.* 2017; 80(3S): S9-S22. doi: 10.1093/neuros/nyw080

10. Ong B, Wilson JR, Henzel MK. Management of the patient with chronic spinal cord injury. *Med Clin North Am.* 2020; 104(2): 263-278. doi: 10.1016/j.mcna.2019.10.006

11. Burns AS, Marino RJ, Kalsi-Ryan S, Middleton JW, Tetreault LA, Dettori JR, et al. Type and timing of rehabilitation following acute and subacute spinal cord injury: A systematic review. *Global Spine J.* 2017; 7(3S): 175S-194S. doi: 10.1177/2192568217703084

12. Amelina OA. Trauma of spinal cord. In: Makarov AYU (ed). *Clinical neurology with the basics of medical and social expertise*. Saint Petersburg: Zolotoy vek; 1998: 232-248. (In Russ.).
13. Ditunno J, Young W, Donovan W, Creasey G. The international standards booklet for neurological and functional classification of spinal cord injury. *Paraplegia*. 1994; 32(2): 70-80. doi: 10.1038/sc.1994.13
14. Kirshblum S, Snider B, Eren F, Guest J. Characterizing natural recovery after traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2021; 38(9): 1267-1284. doi: 10.1089/neu.2020.7473
15. Hales M, Biros E, Reznik JE. Reliability and validity of the sensory component of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI): A systematic review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2015; 21(3): 241-249. doi: 10.1310/sci2103-241
16. Mulcahey MJ, Gaughan J, Betz RR, Vogel LC. Rater agreement on the ISNCSCI motor and sensory scores obtained before and after formal training in testing technique. *J Spinal Cord Med*. 2007; 30(1): S146-S149.
17. Prudnikova OG, Kachesova AA, Ryabykh SO. Rehabilitation of patients in late period after spinal cord injury: A meta-analysis of literature data. *Spine Surgery*. 2019; 16(3): 8-16. (In Russ.). doi: 10.14531/ss2019.3.8-16
18. Kramer JK, Taylor P, Steeves JD, Curt A. Dermatome somatosensory evoked potentials and electrical perception thresholds during recovery from cervical spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010; 24(4): 309-317. doi: 10.1177/1545968309348312
19. Macklin RA, Brooke VJ, Calabro FJ, Ellaway PH, Perez MA. Discrepancies between clinical assessments of sensory function and electrical perceptual thresholds after incomplete chronic cervical spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2016; 54(1): 16-23. doi: 10.1038/sc.2015.104
20. Schuld C, Franz S, Brüggemann K, Heutheaus L, Weidner N, Kirshblum SC, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: Impact of the revised worksheet (revision 02/13) on classification performance. *J Spinal Cord Med*. 2016; 39(5): 504-512. doi: 10.1080/10790268.2016.1180831
21. Marino R, Jones L, Kirshblum S, Tal J, Dasgupta A. Reliability and repeatability of the motor and sensory examination of the international standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2008; 31(2): 166-170. doi: 10.1080/10790268.2008.11760707
22. Krassioukov A, Wolfe DL, Hsieh JT, Hayes KC, Durham CE. Quantitative sensory testing in patients with incomplete spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999; 80(10): 1258-1263. doi: 10.1016/s0003-9993(99)90026-6
23. Nicotra A, Ellaway P. Thermal perception thresholds: Assessing the level of human spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2006; 44(10): 617-624. doi: 10.1038/sj.sc.3101877
24. Savic G, Bergström EMK, Davey NJ, Ellaway PH, Frankel HL, et al. Quantitative sensory tests (perceptual thresholds) in patients with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*. 2007; 44(1): 77-82. doi: 10.1682/jrrd.2005.08.0137
25. Hubli M, Dietz V. The physiological basis of neurorehabilitation-locomotor training after spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil*. 2013; 10: 5. doi: 10.1186/1743-0003-10-5
26. Ozdemir RA, Perez MA. Afferent input and sensory function after human spinal cord injury. *J Neurophysiol*. 2018; 119(1): 134-144. doi: 10.1152/jn.00354.2017
27. Finnerup NB, Johannesen IL, Bach FW, Jensen TS. Sensory function above lesion level in spinal cord injury patients with and without pain. *Somatosensory Mot Res*. 2003; 20(1): 71-76. doi: 10.1080/0899022031000083843
28. Walsh LD, Moseley GL, Taylor JL, Gandevia SC. Proprioceptive signals contribute to the sense of body ownership. *J Physiol*. 2011; 589(Pt 12): 3009-3021. doi: 10.1113/jphysiol.2011.204941
29. Kirshblum S, Waring W, Biering-Sorensen F, Burns SP, Johansen M, Schmidt-Read M, et al. Reference for the 2011 revision of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *J Spinal Cord Med*. 2011; 34(6): 547-554. doi: 10.1179/107902611X13186000420242
30. Mucke M, Cuhls C, Radbruch L, Baron R, Maier C, Tölle T, et al. Quantitative sensory testing. *Schmerz*. 2014; 28: 635-648. [In German]. doi: 10.1007/s00482-014-1485-4
31. Mano H, Yoshida W, Shibata K, Zhang S, Koltzenburg M, Kawato M, et al. Thermosensory perceptual learning is associated with structural brain changes in parietal-opercular (SII) cortex. *J Neurosci*. 2017; 37(39): 9380-9388. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1316-17.2017
32. Mohammed H, Hollis ER. 2<sup>nd</sup>. Cortical reorganization of sensorimotor systems and the role of intracortical circuits after spinal cord injury. *Neurotherapeutics*. 2018; 15(3): 588-603. doi: 10.1007/s13311-018-0638-z
33. Simis M, Camsari DD, Imamura M, Filippo TRM, De Souza DR, Battistella LR, et al. Electroencephalography as a biomarker for functional recovery in spinal cord injury patients. *Front Hum Neurosci*. 2021; 15: 548558. doi: 10.3389/fnhum.2021.548558
34. Dietz V, Fouad K. Restoration of sensorimotor functions after spinal cord injury. *Brain*. 2014; 137(Pt 3): 654-667. doi: 10.1093/brain/awt262
35. Beauparlant J, van den Brand R, Barraud Q, Friedli L, Musienko P, Dietz V, et al. Undirected compensatory plasticity contributes to neuronal dysfunction after severe spinal cord injury. *Brain*. 2013; 136(Pt 11): 3347-3361. doi: 10.1093/brain/awt204
36. Rioult-Pedotti MS, Donoghue JP, Dunaevsky A. Plasticity of the synaptic modification range. *J Neurophysiol*. 2007; 98(6): 3688-3695. doi: 10.1152/jn.00164.2007
37. Bareyre FM, Kerschensteiner M, Raineteau O, Mettenleiter TC, Weinmann O, Schwab ME. The injured spinal cord spontaneously forms a new intraspinal circuit in adult rats. *Nat Neurosci*. 2004; 7(3): 269-277. doi: 10.1038/nn1195
38. Lin CS, Macefield VG, Elam M, Wallin BG, Engel S, Kiernan MC. Axonal changes in spinal cord injured patients distal to the site of injury. *Brain*. 2007; 130(Pt 4): 985-994. doi: 10.1093/brain/awl339
39. Baidurashvili AG, Vissarionov SV, Belianchikov SM, Kartavenko KA, Solokhina IYu, Kozyrev AS, et al. Comprehensive treatment of a patient with complicated thoracic spine injury using percutaneous electrical spinal cord stimulation (case report). *Genij Ortopedii*. 2020; 26(1): 79-88. (In Russ.). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-79-88
40. Pfau DB, Haroun O, Lockwood DN, Maier C, Schmitter M, Vollert J, et al. Mechanical detection and pain thresholds: Comparability of devices using stepped and ramped stimuli. *Pain Rep*. 2020; 5(6): e865. doi: 10.1097/PR9.0000000000000865

**Сведения об авторах**

**Щурова Елена Николаевна** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник научной лаборатории Клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: elena.shurova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0816-1004>

**Прудникова Оксана Германовна** – доктор медицинских наук, нейрохирург, травматолог-ортопед, старший научный сотрудник, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 10 Клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: pog6070@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1432-1377>

**Качесова Анастасия Анатольевна** – аспирант, врач-невролог, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, e-mail: k-an-an@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9065-7388>

**Information about authors**

**Elena N. Shchurova** – Dr. Sc. (Biol.), Leading Research Officer at the Clinical Laboratory, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, e-mail: elena.shurova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0816-1004>

**Oksana G. Prudnikova** – Dr. Sc. (Med.), Neurosurgeon, Traumatologist-Orthopedist, Senior Research Officer, Head of the Traumatology and Orthopedic Department No. 10, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, e-mail: pog6070@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1432-1377>

**Anastasiia A. Kachesova** – Postgraduate, Neurologist, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, e-mail: k-an-an@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9065-7388>